

Gestion de la fertilité du sol sur un terroir sahélien

Fumure animale, matière organique et encroûtement superficiel du sol dans les systèmes de culture de mil, étude au Niger

Au Sahel, les agriculteurs luttent contre la perte de fertilité des terres en les mettant en jachère ou en apportant périodiquement à la surface fèces et urine de zébus et de caprins. Mais aujourd'hui, de plus en plus de jachères sont remises en culture avant que la fertilité des sols n'ait été régénérée : il en résulte une baisse des rendements et de la productivité du travail ainsi que la dégradation du milieu sous forme d'encroûtement superficiel. Dans ces situations, la fumure organique peut permettre de maintenir ou d'améliorer la production du mil.

de 30-35 %) qu'une récolte de mil n'est garantie que 4 ans sur 5 (LE HOUEROU, 1992). Les sols sahéliens étant pauvres, ces conditions entraînent des difficultés de maintien de la productivité, d'autant que la plupart des paysans ne disposent pas des moyens nécessaires à l'utilisation d'engrais minéraux. Pour lutter contre la diminution de la fertilité des champs, les paysans ont recours à deux techniques : la mise en jachère et la fumure organique. Cette dernière s'effectue sous la forme d'apports périodiques dans les champs de fèces et d'urine, principalement de zébus et de caprins.

Entre le Sahara et la savane soudanaise, le Sahel est caractérisé par une pluviométrie annuelle de 300 à 700 millimètres, en une saison de trois à quatre mois, de juin à septembre. Le reste de l'année ne compte généralement aucune averse. Le mil (*Pennisetum glaucum*) constitue la seule céréale d'importance économique au Sahel. Tandis que l'élevage pénètre dans les zones très sèches, l'agriculture pluviale devient très incertaine en dessous de 400 millimètres de pluie. La fréquence et le caractère aléatoire des périodes de sécheresse y sont tels (coefficient de variation

Les partenaires de la recherche

Programme Fed 1994-1999 amélioration et gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest.

Pays concernés : Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Mali, Niger, Sénégal.

Les équipes — agronomes, pédologues, hydrologues, phytoécologues, etc. — interviennent sur un ou deux sites par pays.

Principal site au Niger : Banizoumbou.

Partenaires au Niger : Université de Niamey, Orstom.

Coordinateur régional : C. FLORET, Orstom, BP 1386, Dakar, Sénégal.

A. DE ROUW

Inra, 78850 Thiverval-Grignon, France
Mél : derouwe@jouy.inra.fr

Lorsque l'agriculture dispose de surfaces suffisantes, les deux pratiques demeurent possibles. La forte croissance démographique, entre 2 et 3 %, va engendrer dans un avenir proche, un manque de terre cultivable, ne permettant plus de conserver les techniques de mise en jachère. Au fur et à mesure que se fait sentir une pénurie de terres cultivables, les jachères sont mises en culture avant que la fertilité des sols n'ait été régénérée. Il en résulte une baisse de rendement, une diminution de la productivité du travail et une dégradation du milieu sous forme d'encroûtement superficiel. Dans de telles situations, l'emploi de la fumure organique constitue une solution pour le maintien et l'amélioration de la production du mil : l'objectif de cet article est d'étudier cette possibilité qui paraît d'autant plus réaliste qu'au Sahel coexiste une agriculture pluviale extensive et un élevage semi-nomade.

L'agriculture sahélienne

Le terroir d'étude, Banizoumbou, à 65 kilomètres à l'est de Niamey (Niger, figure 1), est relativement ancien — plus que 150 ans. Il est d'assez petite taille, 80 kilomètres carrés. Le village compte 84 ménages avec une taille de ménage moyenne de 10 personnes (LOIREAU, 1998). La région est à majorité zarma, ethnie d'agriculteurs qui, à Banizoumbou, a peu de bétail : 90 % des ménages possèdent moins de 10 têtes, zébus et caprins confondus. La minorité peuhl, 10-15 % de la population, ethnie d'éleveurs devenue sédentaire et agricole, possède plus de 10 têtes de bétail par ménage.

Compte tenu de la pluviométrie (environ 550 mm/an), la culture pluviale dominante est le mil, souvent associé au niébé. Elle se caractérise par l'absence de culture attelée et un très faible recours à l'engrais. Deux points méritent d'être soulignés : la grande taille des champs de mil (4 à 30 ha d'un seul tenant) et l'éloignement de 5 à 8 kilomètres des parcelles cultivées par le

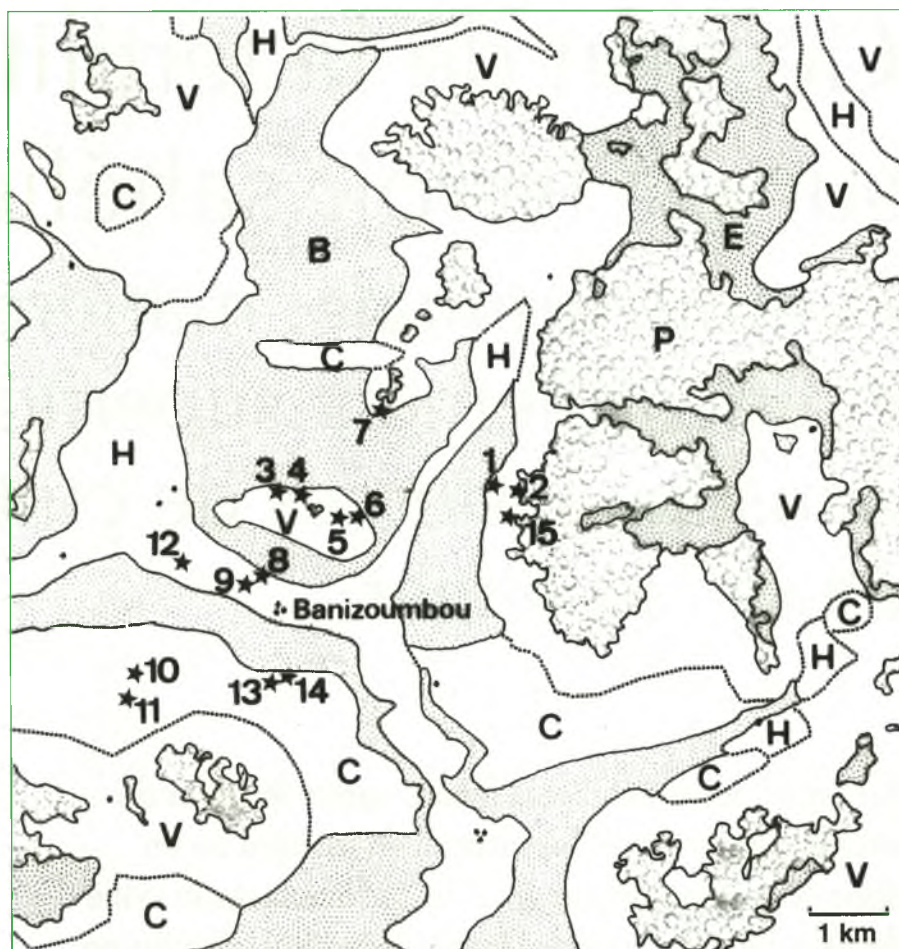


Figure 1. Carte géomorphologique d'une zone agropastorale sahélienne, avec l'emplacement des champs étudiés (numérotés au tableau 1) sur le terroir de Banizoumbou.

P = plateau cuirassé, E = ensablement sur plateau, B = bas-fonds et dépressions. P, E et B, sont des zones de pâturages, peu aptes à la culture. V = versants et piémonts sableux d'origine éolienne, C = cordon dunaires fixes, H = chanfrein. V, C et H sont des zones cultivées en mil, champs et jachères. D'après NAGUMO (1992) et LOIREAU (1998).

même paysan au cours de la même saison. Cette gestion particulière de l'espace vise à limiter les risques. Il ne s'agit pas seulement de cultiver des terrains étendus dont les caractères obéissent à des gradients le long des versants (ROCKSTRÖM et DE ROUW, 1997), mais aussi de répartir les risques de sécheresse localisée et d'attaque par des ravageurs, en veillant à la dispersion et l'éloignement des champs. En 1992 et 1994, des écarts de 100 millimètres de pluie cumulée au cours du cycle ont été enregistrés sur des champs distants seulement de 5 kilomètres.

Les cultures sont concentrées sur les piémonts et versants sableux, sur les

cordons dunaires et sur des chanfreins (figure 1, tableau 1). Les plateaux et les bas-fonds, peu aptes à la culture, sont des zones de pâturage. A Banizoumbou, subsistent quelques réserves de terres, d'où la coexistence de systèmes de culture sur jachère peu ou assez dégradée et de systèmes de culture avec fumure organique. Proche du village et dans la partie sud du terroir, le mil est cultivé pendant 4-6 ans sans intrant, en alternance avec une jachère courte de 3-5 ans. Plus loin des habitations et dans la partie nord du terroir, les cycles culture-jachère sont généralement plus longs : 5-10 ans de culture sans intrant avec des jachères de plus de 15 ans.

Les champs fumés peuvent être situés à proximité ou non du village. L'application est effectuée soit dès la deuxième année de mise en culture, soit au bout d'une période de culture sans intrant. Par opposition aux systèmes de culture avec jachère, les champs fumés correspondent à une culture permanente car les paysans n'ont pas l'intention de les mettre en jachère. Le plus ancien champ fumé sur le terroir de Banizoumbou avait 19 ans en 1997.

Les techniques de semis, sarclage, démarriage et récolte sont identiques pour les différents systèmes de culture. Le mil est semé après creusement de trous (poquets) et rebouchage juste après. Ainsi, sont semées de grandes surfaces avec une faible densité (moyenne de 7 000 poquets/ha), au cours de la période comprise entre un et trois jours qui suivent la première grosse pluie de la saison (plus de 15 mm).

Le sarclage constitue le seul travail du sol. Il est réalisé à l'aide d'une lame courbe (iler) travaillant à très faible profondeur. Cet instrument, adapté à cultiver des sols sableux, est très généralisé au Sahel. Il entraîne non seulement la coupe des mauvaises herbes, mais aussi la destruction des croûtes superficielles. Le grattage superficiel à l'iler, généralement en deux passages, constitue le travail le plus lourd qui occupe les paysans continuellement de 15 à 70 jours après semis.

Préparation de la fumure organique

La fumure est préparée et appliquée sous trois formes : la stabulation des animaux dans la concession, la stabulation nocturne à l'attache au champ, le parcage extensif des animaux.

Lorsque les animaux sont en stabulation dans la concession, on obtient alors de la poudrette. Cette pratique ne concerne que des surfaces très réduites (d'une dizaine de m²), le nombre d'animaux concerné est faible, et le coût du transport au champ élevé (par charrette ou sur la tête).

La conduite de l'expérimentation

Une enquête préliminaire a permis de différencier quatre modes de gestion sur le terroir de Banizoumbou. Dans l'analyse, chaque mode de gestion était représenté par 3 à 5 champs et la période de suivi était de 1 à 4 ans (tableau 1). Chaque champ comprend deux transects de 100 mètres. Le dispositif en transect recoupe les hétérogénéités de terrain les plus manifestes, principalement liées aux mouvements de l'eau. Le découpage de chaque transect en 20 placettes, dont la petite taille de 5 x 5 mètres correspond aux hétérogénéités de terrain, a permis d'intégrer dans l'analyse de sol et de la culture, les irrégularités du terrain.

Observations par champ

Pluie journalière, itinéraire technique par enquête hebdomadaire.

Observations par placette

Le mil : levée, composantes du rendement, rendement en grain, biomasse.

Le terrain : estimation de la quantité de fumure déposée, quantité de résidu de culture, surface encroûtée à la fin de la saison des pluies et avant le sarclage.

Analyse annuelle du sol de chaque placette

Analyse du sol : chimique, texture (0-20 cm) à la fin de la saison des pluies.

L'analyse annuelle du sol de chaque placette étant trop coûteuse, nous avons pris trois mesures.

- Un échantillonnage stratifié par champ. Les hétérogénéités du terrain ont été groupées en 5 types (strates) :

- 1, surface sableuse assez uniforme ;
- 2, ravines ;
- 3, zone d'épandage des sédiments charriés par les crues ;
- 4, croûte d'érosion ;
- 5, dépression avec croûte de décantation.

Une strate est attribuée à chaque placette. Chaque strate est échantillonnée séparément.

- Des échantillons composites des placettes contiguës appartenant à la même strate sans dépasser 4 placettes par strate.

- Une allocation optimale par strate, après l'étude de l'écart type de chaque strate. Dans le cas d'un écart type réduit, un petit nombre d'échantillon suffit. A l'inverse, pour un écart type élevé, un plus grand nombre d'échantillons est nécessaire. Ainsi, le nombre d'échantillons à analyser par champ est varié. Le minimum a été de 10 échantillons, où les 40 placettes appartenaient toutes à la même strate, et le maximum a été de 14, où les 40 placettes appartenaient à 3 strates différentes.

Tableau 1. Typologie des champs selon leur mode de gestion et les années de suivi par champ. L'emplacement des champs (1 à 15) est indiqué sur la figure 1.

N° champ	Nombre d'années de culture en			
	1993	1994	1995	1996
Mise en culture après une jachère de plus de 15 ans				
– cycle de 10 ans de culture sans intrant				
1	3	4	5	6
2	3	4	-	-
3	3	4	5	6
4	3	4	-	-
– culture avec fumure organique				
5	13	14	15	16
6	13	14	-	-
7	-	-	17	18
Mise en culture après une jachère de 3-5 ans				
– cycle de 4-6 ans de culture sans intrant				
8	3	4	-	-
9	3	4	-	-
10	3	-	-	-
11	3	-	-	-
12	-	-	3	4
– culture avec fumure organique				
13	+ de 10	-	-	-
14	+ de 10	-	-	-
15	-	-	11	12

En stabulation nocturne à l'attache au champ, la fumure produite consiste en un apport de déjections et d'urine déposées et mélangées avec du sable, là où les animaux sont attachés. Cette pratique, peu courante, exige beaucoup de travail (couper, poser, déplacer les piquets) et ne concerne que quelques centaines de mètres carrés.

Enfin, le parage extensif des animaux se fait après la récolte, tant qu'il persiste des résidus de culture, le bétail reste jour et nuit dans les champs. Une fois cette réserve épuisée, les troupeaux passent la journée à pâturer dans les jachères et sur les plateaux et regagnent les champs la nuit. En début d'hivernage, zébus et caprins peuvent rester jour et nuit dans les champs. Il s'agit de la courte période au cours de laquelle les troupeaux pâturent les mauvaises herbes : les jeunes pousses de mil sont trop amères et la culture associée, très appréciée, n'a pas encore levé. Les animaux passent la nuit, soit en liberté, soit près d'un enclos où sont attachés les veaux, autour desquels se regroupe la plupart du bétail. En déplaçant les veaux, on assure la rotation du parc. Dans l'auréole où ont été concentrés les animaux, 0,1 à 5 tonnes par hectare de bouses sont déposées. Généralement, la surface de cette auréole n'excède pas un hectare. Cette troisième forme d'application de la fumure est de loin la plus fréquente dans la région. Elle est pratiquée par les éleveurs peulhs sédentarisés et des paysans zarma qui disposent de leur propre bétail pour assurer le parage. Le parage d'animaux est également pratiqué par les agriculteurs zarma possédant peu de bétail, mais relativement aisés, qui peuvent conclure un contrat de parage avec un éleveur peulh nomade. Le Peulh, avec son troupeau de bovins ou bovins et caprin, campe dans le champ. Le paysan est tenu de lui construire une demeure, un enclos, et de lui fournir entre 5 et 10 kilos de mil par semaine. Un contrat de parage peut couvrir toute la saison sèche. Lors du parage extensif, les bouses sèchent rapidement sur place où la température à la surface du sol atteint 70 °C en saison

sèche chaude (RAJOT, comm. pers.). Elles restent entières ; c'est par hasard que les animaux les piétinent, sans mélange d'urine. Cette urine, en l'absence de piétinement par les animaux, forme, avec le sable, des croûtes superficielles où la levée du mil est mauvaise. Ces croûtes disparaissent un mois environ après les premières pluies.

Qualité et quantité de la fumure

L'analyse des bouses sèches montre qu'il s'agit surtout d'un amas de carbone, pauvre en éléments fertilisants (tableau 2). Du fait de la sécheresse et de la pauvreté des pâturages sahéliens, fumer les champs demeure une opération difficile. Pour que l'agriculteur puisse restituer par le fumier les éléments nutritifs exportés dans les grains de mil (600 kg/ha), il lui faudrait 50 hectares de pâturage pour nourrir les troupeaux de zébus parqués la nuit sur 1 hectare de champ pendant la saison sèche (SCHLECHT *et al.*, 1995).

De plus, les quantités appliquées dans la zone d'étude sont faibles — de l'ordre de 0,1-5 tonne par hectare et par an. Pour récupérer 8,7 kilos de phosphore et 71 kilos d'azote, soit à peu près les éléments nutritifs contenus dans 5 tonnes de bouses sèches, il faut parquer 8 zébus de 300 kilos pendant 8 mois au champ et récupérer l'ensemble des fèces et de l'urine (POWELL *et al.*, 1996). Les teneurs en éléments nutritifs des bouses à Oursi, au nord du Burkina Faso, sont encore plus faibles que celles du Niger, mais les apports se trouvent compensés par des quantités plus importantes de déjections déposées — 1,2 à 1,8 tonne par hectare et par an pour des parcelles faiblement fumées (QUILFEN et MILLEVILLE, 1983). Le même système extensif de parage a été décrit à Oursi. Toutefois, si les apports nutritifs sont faibles, les bouses de zébus représentent une masse importante de matière organique : un zébu de 250 kilos rejette en saison sèche environ 8 kilos de fèces par jour, soit 1,8 kilo de bouses sèches (SCHLECHT *et al.*,

1995). Parmi l'ensemble des systèmes africains de gestion de la fumure, LANDAIS et LHOSTE (1993) désignent ce système comme celui qui nécessite le moins de travail et qui correspond au début d'un processus d'intensification.

Résultats et discussion

Matière organique et éléments fins

La figure 2 montre la relation entre le taux de matière organique et le taux d'éléments fins des couches supérieures des sols cultivés (0-20 cm). Chaque point représente la moyenne d'un champ, avec l'incertitude ($P < 5\%$) de l'estimation des moyennes (figure 2a). Les champs cultivés sur jachère et sans intrant sont représentés par des carrés. Tous les champs sont dans leur troisième année de culture après jachère. Les champs qui reçoivent de la fumure organique sont représentés par des ronds et des triangles. En ce qui concerne les sols cultivés sans apport de fumure (à droite de la figure 2a), ces champs montrent des teneurs en matière organique et en éléments fins relativement élevées. Ce sont des sols cultivés d'une façon extensive avec de longues périodes de jachère (sites 1, 2, 3 et 4 du tableau 1). Les champs cultivés plus intensivement sont regroupés à gauche de la figure 2 : plusieurs cycles de culture en alternance avec des jachères relativement courtes. Ces champs sont caractérisés par des teneurs de matière organique et d'éléments fins plus basses (sites 8, 9, 10 et 11 du tableau 1).

La ligne continue (figure 2b) est établie avec des données des champs cultivés sans apport de fumure organique. Elle montre l'évolution de la couche supérieure du sol et ses pertes graduelles en éléments fins et en matière organique lors des mises en culture de plus en plus fréquentes. Les sols qui reçoivent périodiquement des apports de fumure sont situés au-dessus de la ligne. Ces champs sont dans leurs 11^e et 17^e années de

Tableau 2. Analyse des bouses de vache à l'état sec (g/100 g).

	Matière organique	N total	P total	K total	Source
Banizoumbou, Niger	47	1,42	0,174	0,717	DE ROUW <i>et al.</i> , 1998
Sadoré, Niger	-	1,32	0,16	-	BROUWER et POWELL, 1996
Oursi, Burkina Faso	-	1,28	0,11	0,46	QUILFEN et MILLEVILLE, 1983
Saria, Burkina Faso	48	2,1	0,22	3,47	SCHLEICH, 1986
Nord du Nigeria	48	1,5	0,26	0,9	SANDFORD, 1989

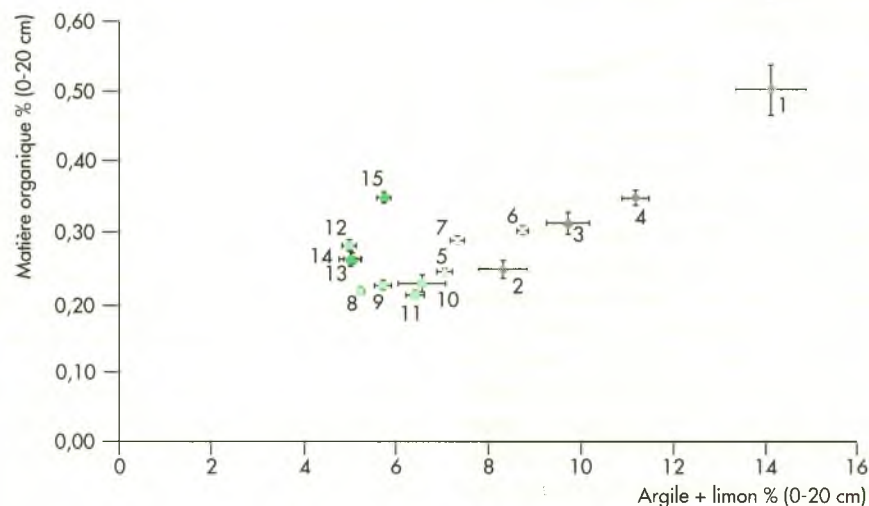


Figure 2a. Total de 15 points avec l'incertitude sur l'estimation des moyennes ($P = 0,95$). La numérotation des champs correspond à celle de la figure 1 et tableau 1.

- ◆ Cycles de plus de 15 ans de jachères et 10 ans de culture sans intrant.
- Cycles de 3-4 ans de jachère et 4-6 ans de culture sans intrants.
- Les champs cultivés sans intrants sont dans leur 3^e année de culture.
- Mise en culture après plus de 15 ans de jachère et culture permanente avec fumure organique.
- Mise en culture après 3-4 ans de jachère et culture permanente avec fumure organique.

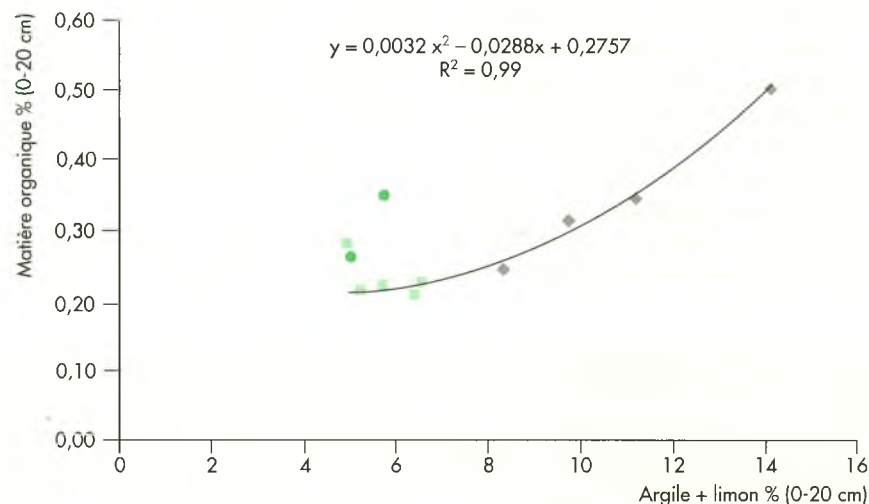


Figure 2b. Régression avec tous les points carrés — champs cultivés sans intrants sur jachère. Les champs qui reçoivent de la fumure organique se trouvent au dessus de la ligne.

Figure 2. Relations entre matière organique et éléments fins des sols cultivés en mil selon 4 modes de gestion (Niger, 550 mm/an).

cultures consécutives. Certains sols (triangles) présentent un taux d'éléments fins relativement élevé. Ce sont des champs défrichés dans des vieilles jachères (sites 5, 6 et 7 du tableau 1) et leur mise en culture est assez récente. D'autres sols (représentés par des ronds) montrent un taux d'éléments fins plus bas. Ces champs ont connu plusieurs cycles de culture-jachère, puis, devenus trop pauvres, ils reçoivent maintenant du fumier (sites 13, 14 et 15 du tableau 1). Un champ cultivé sur jachère (site 12, tableau 1) présente un taux de matière organique semblable aux champs fumés. Quoique cultivé sans intrant, ce champ est entouré de jachères qui servent de pâturages aux troupeaux utilisant le champ comme couloir de passage : leurs déjections peuvent expliquer le taux de matière organique relativement élevé.

Processus d'accumulation et de perte

Au cours de la jachère, les biomasses aériennes et souterraines augmentent. Puis, avec la chute des feuilles et l'activité faunistique du sol, le taux de matière organique du sol croît avec le temps lorsque la parcelle est laissée en repos. Les effets bénéfiques de la mise en jachère sont recherchés à moyen et à long terme, grâce à une amélioration du sol à la fois biologique et chimique : remonter les éléments nutritifs vers la surface grâce au système racinaire, améliorer la structure, stimuler l'activité faunistique, éliminer les adventices et les parasites de la culture.

En zone sahélienne, les vents chargés de poussière sont fréquents. En saison sèche, les arbustes piègent des quantités importantes de poussières qui seront restituées au sol lors des premières pluies. Plus la végétation aérienne est importante, plus la jachère a eu le temps de se développer, plus elle favorise les dépôts et donc un enrichissement du sol en argile et en limon (AMBOUTA *et al.*, 1996). Lors de la mise en culture, non seulement l'apport de biomasse cesse, puisque la végétation est coupée, mais

les dépôts d'éléments fins cessent également, faute d'obstacle à la surface du sol. Avec le rallongement de la période de culture, le stock organique diminue et les éléments fins sont sujets à l'érosion éolienne et hydrique. L'érosion éolienne est accélérée par l'émiettement du sol dû au travail de défrichement et aux sarclages. Les pertes de matière organique et d'éléments fins se trouvent ainsi renforcées par la succession des cycles culture-jachère, en particulier si les jachères sont courtes (AMBOUTA *et al.*, 1996).

La courbe de la figure 2b montre ainsi la dégradation des sols cultivés par leur mise en culture fréquente, par le raccourcissement de la période de jachère et par une culture sans intrant. L'apport de la fumure organique, même à faible dose et de qualité médiocre, peut toutefois pallier ou au moins ralentir la diminution du stock de matière organique. Mais les défrichements et sarclages répétés ne peuvent pas empêcher la perte d'éléments fins par l'érosion.

Les relations, le plus souvent linéaires, entre taux de matière organique et éléments fins sont bien connues. PIERI (1989), FELLER et BEARE (1997) en ont établi pour les groupes de sols cultivés avec ou sans apport organique, en général plus argileux (10 et 80 % 0-20 μm). Ici, cette relation concerne des sols très sableux avec des teneurs en matière organique extrêmement faibles.

Encroûtement superficiel

Les sols sableux du Niger s'encroûtent facilement. L'énergie cinétique des gouttes de pluie détruit facilement les agrégats, particulièrement lorsque la surface du sol est sableuse. Cette

désagrégation s'accompagne d'une disjonction entre les particules sableuses et les éléments fins (argile, limon et matière organique ; VALENTIN, 1981). Ceux-ci colmatent les pores et réduisent considérablement l'infiltration (CASENAVE et VALENTIN, 1992). Entre le semis et le premier sarclage, la présence des croûtes se révèle particulièrement gênante, car, outre des réductions d'infiltration, elles peuvent contrarier la levée des semences du fait de leur dureté.

Les champs sont d'autant plus encroûtés que la surface du sol est plus riche en éléments fins. Le taux d'encroûtement varie selon le mode de gestion (tableau 3). Les risques sont maximaux là où les taux d'éléments fins de la couche supérieure du sol sont proches de l'optimum textural pour l'encroûtement, à savoir 10 % d'argile + limon (POESEN, 1986). De plus, le seuil d'apparition des croûtes est d'environ 5 % d'argile + limon (AMBOUTA *et al.*, 1996). La majorité des champs étudiés se situe dans cette fourchette (figure 2a).

Stabilité des agrégats

Il existe d'étroites relations entre la teneur en matière organique et la stabilité structurale des agrégats. Un taux élevé de matière organique, agent hydrophobe, réduit la mouillabilité des agrégats et diminue les risques d'éclatement lors de l'humectation. PIERI (1989) a montré, pour des sols très sableux, que de faibles variations de teneur en matière organique pouvaient entraîner une dégradation, ou au contraire une amélioration, de la structure superficielle du sol. La diminution du stock organique qui accompagne une période de culture induit donc une instabilité structurale. L'en-

croûtement superficiel est renforcé si, lors de la période de culture, le stock en matière organique baisse plus vite que celui des éléments fins (PIERI, 1989). L'application de fumure à la surface du sol permet de lutter contre l'instabilité croissante des agrégats, et en conséquence, contribue à la réduction de l'encroûtement.

Protection des champs

Les risques d'encroûtement diminuent quand la couverture du sol peut absorber une partie de l'énergie avec laquelle l'eau de pluie atteint la surface. Cette couverture peut comprendre des résidus de culture, des herbes sèches, des branches coupées ou non, des ligneux, mais également les bouses et crottes des animaux domestiques. Ils constituent autant d'obstacles à l'agressivité des pluies.

Les résidus de culture, adventices et bouses protègent également la surface d'un champ par un autre mécanisme. A la fin de la saison sèche, les champs sont couverts d'un horizon de sable meuble d'épaisseur variable (quelques millimètres à 10 cm) qui repose sur les horizons sous-jacents compacts. Le début d'hivernage est marqué par des vents violents et ce sable meuble est balayé. Il s'accumule là où subsistent non seulement des obstacles végétaux mais aussi des bouses. Les dépôts de sables éoliens constituent des zones très perméables ; en revanche, l'eau s'infiltre très peu dans les zones encroûtées (VALENTIN et BRESSON, 1992). Les pourcentages respectifs des zones encroûtées et de dépôts éoliens à la surface des parcelles traduisent leur aptitude à l'infiltration.

La protection du champ fournie par des obstacles à la surface du sol reste

Tableau 3. Influence du mode de gestion sur la proportion de surface encroûtée entre la levée et le premier sarclage et sur le rendement en mil. Fumure organique : 0,1-5 t/ha/an ; n = nombre d'années x champs.

Gestion	Encroûtement superficiel (%)	Rendement (kg/ha)				
		Moyenne	Min.	Max.	CV %	n
Mise en culture après une jachère de plus de 15 ans						
– cycle de 10 ans de culture, sans intrant	32	395	246	804	42	12
– culture avec fumure organique	11	369	242	511	27	8
Mise en culture après une jachère de 3-5 ans						
– cycle de 4-6 ans de culture, sans intrant	10	169	45	253	39	8
– culture avec fumure organique	4	399	323	464	18	4

nécessairement incomplète. On trouve rarement plus de 5 % de la surface du champ couverts par les résidus de culture en début d'hivernage. D'une part, la quantité de biomasse produite est elle-même faible, entre 0,5 et 2 tonnes par hectare de matière sèche. D'autre part, les grosses tiges du mil sont utilisées pour la construction ou sont ramassées pour être données aux animaux domestiques gardés au village. L'application de 0,1 à 1 tonne par hectare et par an de bouses assure une couverture de 0,5 à 5 % de la surface, tandis que 5 tonnes par hectare de bouses couvrent 15 à 20 % du sol en début d'hivernage. Bien que ces quantités soient faibles, cette masse est importante par son effet mécanique : elle augmente la résistance à l'érosion éolienne, elle piège le sable éolien et favorise ainsi l'infiltration (DE ROUW *et al.*, 1998).

Productivité du mil

Une culture prolongée, avec de faibles quantités de bouses déposées au champ, permet de maintenir une productivité d'environ 400 kilos par hectare, malgré la pauvreté des bouses en éléments nutritifs (tableau 3). Les sols, cultivés sans intrant après une période de jachère de plus de 15 ans, produisent également en moyenne 400 kilos par hectare. Les terrains cultivés sans intrant en cycles répétés de 4-6 ans de culture et 3-5 ans de jachère sont peu productifs, 200 kilos en moyenne. Les variations interannuelles de rendement sont importantes, principalement à cause des sécheresses — de l'ordre de plus ou moins 100 kilos pour tous les types de champ. En général, les champs cultivés sans intrant après jachère ont des rendements beaucoup plus variables, dus à la variabilité du peuplement. L'hétérogénéité du terrain se trouve essentiellement dans les champs cultivés sur jachère.

Ces niveaux de rendements sont normaux pour une culture paysanne de mil dans cette zone de pluviométrie. L'indice de la récolte (rendement en grains/biomasse sèche totale) $\times 100$, dont la valeur basse est propre au mil,

varie entre 23 % après une jachère longue et 16 % pour des champs fumés.

Conclusion

La faible quantité d'intrants, de qualité médiocre, fournie annuellement par les bouses et les crottes, permet de ralentir ou de stopper la dégradation du sol ; l'apport de la fumure permet aux cultivateurs d'allonger la durée de culture. Les sols sableux où l'on cultive le mil sont non seulement pauvres en matière organique mais celle-ci se dégrade rapidement. Une voie possible pour parvenir à maintenir la fertilité consiste à mieux utiliser les déjections des animaux domestiques. Le développement agricole du Sahel repose dès lors sur les bienfaits de l'agro-pastoralisme, ces deux pratiques devant être mieux intégrées.

Bibliographie

- AMBOUTA J.M.K., VALENTIN C., LAVERDIÈRE M.-R., 1996. Jachères et crottes d'érosion au Sahel. *Sécheresse* 7 : 269-275.
- BROUWER J., POWELL J.-M., 1996. Soil aspects of nutrient cycling in a manure application experiment in Niger. In *Livestock and sustainable nutrient cycles in mixed-farming systems of sub-saharan Africa*. Vol II: Technical papers, POWELL J.-M., FERNÁNDEZ-RIVERA S., WILLIAMS T.O., RENARD C. (Eds). *Proceedings of an International Conference held in Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 november 1993*. International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, p. 211-226.
- CASENAVE A., VALENTIN C., 1992. A runoff capability classification system based on surface features criteria in the arid and semi-arid areas of West Africa. *J. Hydrol.* 130 : 231-249.
- DE ROUW A., RAJOT J.-L., SCHMELZER G., 1998. Effets de l'apport de bouses de zébus sur les composantes du rendement du mil, sur les mauvaises herbes et sur l'encroûtement superficiel du sol au Niger. In *La conduite du champ cultivé. Point de vue d'agronomes*. BIARES A. (éditeur). Editions Orstom, Paris, France, p. 95-112.
- D'HERBES J.-M., COURAULT D., TIMOUK F., VALENTIN C., 1992. Spacio-carte des états de surface du degré carré de Niamey. Orstom, Niger.
- FELLER C., BEARE M. H., 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma* 79: 69-116.
- LANDAIS E., LHOSTE P., 1993. Systèmes d'élevage et transferts de fertilité dans la zone des savanes africaines. II. Les systèmes de gestion de la fumure animale et leur insertion dans les relations entre l'élevage et l'agriculture. *Cahiers Agricultures* 2 : 9-25.
- LOIREAU M., 1998. Espace – Ressources – Usages : Interactions milieux et sociétés dans le Sahel nigérien. Thèse de doctorat, université Paul Valéry, Montpellier 3, France (sous presse).
- LE HOUEROU H.-N., 1992. Relations entre la variabilité des précipitations et celle de productions primaire et secondaire en zone aride. In *L'aridité : une contrainte au développement. Caractérisation, réponses biologiques, stratégies des sociétés*, LE FLOC'H E., GROUZIS A., BILLE J.-C. (éditeurs). Edition Orstom, Paris, France, p. 197-220.
- NAGUMO F., 1992. Pedological environment and agro-ecological system of the Sudano-Sahelian zone in Niger, West Africa. Thesis for Master Course, Hokkaido University, Japan.
- PIERI C., 1989. Fertilité des terres de savane. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au sud du Sahara. Cirad, France, Agridoc-International, Paris, France, 444 p.
- POESEN J., 1986. Surface sealing on loose sediments : the role of texture, slope and position of stones in the top layer. In *Assessment of soil surface sealing and crusting*. Callebaut F., Gabriels D., de Boedt M. (Eds). Flanders Centre for Soil Erosion and Soil Conservation, Gand, Belgique, p. 354-362.
- POWELL J.M., FERNÁNDEZ-RIVERA S., HIERNAUX P., TURNER M.D., 1996. Nutrient cycling in integrated rangeland/cropland systems of the Sahel. *Agricultural Systems* 52: 143-170.
- QUILFEN J.-P., MILLEVILLE P., 1983. Résidus de culture et fumure animale : un aspect des relations agriculture-élevage dans le nord de la Haute-Volta. *L'Agronomie Tropicale* 38 (3) : 206-212.
- ROCKSTRÖM J., DE ROUW A., 1997. Water, nutrients and slope position in on-farm pearl millet cultivation in the Sahel. *Plant and Soil* 195: 311-327.
- SANDFORD S.G., 1989. Crop residue / Livestock relationships. In *Soil, crop, and water management systems for rainfed agriculture in the Sudano-Sahelian Zone*. RENARD C., VANDERBELDT R. J., PARR J. F. (Eds). *Proceedings of an international workshop, 11-16 janvier 1987, Niamey, Niger*. ICRISAT, Patancheru, Inde, p. 169-182.
- SCHLECHT E., MAHLER F., SANGARÉ M., SUSENBETH A., BECKER K., 1995. Quantitative and qualitative estimation of nutrient intake and faecal excretion of Zebu cattle grazing natural pasture in semi-arid Mali. In *Livestock and sustainable nutrient cycles in mixed-farming systems of sub-saharan Africa*. Vol II: Technical papers, POWELL J.M., FERNÁNDEZ-RIVERA S., WILLIAMS T.O., RENARD C. (Eds). *Proceedings of an International Conference held in Addis Ababa, Ethiopia, 22-26 novembre 1993*. International Livestock Centre for Africa (ILCA), Addis Ababa, Ethiopia, p. 85-98.
- SCHLEICH K., 1986. Le fumier peut-il remplacer la jachère ? Possibilité d'utilisation du fumier : exemple de la savane d'Afrique occidentale. *Rev. Elev. Méd. vét. Pays trop.* 39 : 97-102.
- VALENTIN C., 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-Niger). *Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau*. Thèse de doctorat, université de Paris, France, 259 p.
- VALENTIN C., BRESSON L.-M., 1992. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma* 55: 225-245.

Résumé... Abstract... Resumen

A. DE ROUW — Gestion de la fertilité du sol sur un terroir sahélien. Fumure animale, matière organique et encroûtement superficiel du sol dans les systèmes de culture de mil, étude au Niger.

Pour lutter contre la perte de fertilité des sols, les paysans les mettent en jachère ou apportent des bouses à la surface. Du fait des dépôts de poussières durant la jachère, la surface du sol s'enrichit en éléments fins et en matière organique. Pendant la culture sans intrant, le stock organique diminue et les éléments fins sont sujets à l'érosion éolienne et hydrique. La succession de cycles culture-jachère renforce ces pertes. L'analyse de l'horizon superficiel permet de distinguer les cultures sans intrant après plus de 15 ans de jachère (taux de matière organique du sol 0,50-0,25 %, argile + limon 14-8 %) ; les cultures sans intrant après 3-5 ans de jachère (0,20-0,25 %, 5-7 %) ; les cultures avec bouses après jachères longue et courte 3-5 ans (0,35-0,25 %, 9-5 %). L'encroûtement superficiel du sol à la mise en culture, entre 30 et 10 %, constitue un obstacle au développement du mil en réduisant l'infiltration. Le dépôt de bouses à la surface du sol (0,1-5 t/ha/an), outre les éléments nutritifs apportés, améliore la structure et réduit l'encroûtement (11-4 %). Par effet mécanique, il augmente la résistance à l'érosion éolienne. Pour les paysans, cet apport permet de ralentir ou de stopper la dégradation et d'allonger la durée de culture, avec des rendements assez stables (400 kg/ha).

Mots-clés : mil, matière organique, texture du sol, jachère, encroûtement superficiel, bouse, Niger.

A. DE ROUW — Soil fertility management in the Sahel. Manure, organic matter and crust formation in the topsoil in milled-based farming systems, study in Niger.

To control the loss of soil fertility, smallholders either fallow their land or apply manure. As dust is deposited during fallow, the topsoil is enriched with fine elements and organic matter. During cultivation, without inputs, organic stocks decrease and fine elements are eroded by the wind and rain. Successive crop-fallow cycles exacerbate losses. An analysis of the topsoil revealed a distinction between crops without inputs after over 15 years' fallow (soil organic matter content 0.50-0.25%, clay + loam 14-8%); crops without inputs after 3-5 years' fallow (0.20-0.25%, 5-7%) and crops with manure after long and short (3-5-year) fallow periods (0.35-0.25%, 9-5%). Crust formation in the topsoil on planting, between 30 and 10%, hinders millet development by reducing infiltration. In addition to supplying nutrients, manuring the soil surface (0.1-5 t/ha/year) improves the structure and reduces crust formation (11-4%). It also has a mechanical effect in increasing resistance to wind erosion. For smallholders, manuring can be a way of slowing or halting degradation and extending cropping periods, with relatively stable yields (400 kg/ha).

Keywords: millet, organic matter, soil texture, fallow, surface crust formation, manure, Niger.

A. DE ROUW — Manejo de la fertilidad del suelo en un terruño saheliano. Fertilización animal, materia orgánica e incrustación superficial del suelo en los sistemas de cultivo del mijo estudio en Niger.

Para controlar la pérdida de fertilidad de los suelos, los campesinos los ponen en barbecho o aportan bostas en la superficie. Debido a depósitos de polvos durante el barbecho, la superficie del suelo se enriquece de elementos finos y de materia orgánica. Durante el cultivo, sin insumo, las existencias orgánicas disminuyen y los elementos finos son sujetos a la erosión eólica e hídrica. La sucesión de ciclos cultivo-barbecho acentúa estas pérdidas. El análisis del horizonte superficial permite distinguir los cultivos sin insumo después de más de 15 años de barbecho (tasa de materia orgánica del suelo 0,50-0,25%, arcilla + limón 14-8 %) ; los cultivos sin insumo después de 3-5 años de barbecho (0,20-0,25%, 5-7%); los cultivos con bostas después de barbecho largos y cortos de 3-5 años (0,35-0,25%, 9-5%). La incrustación del suelo al ponerlo en cultivo, entre un 30 y un 10%, constituye un obstáculo para el desarrollo del mijo al reducir la infiltración. El depósito de bostas en la superficie del suelo (0,1-5 t/ha/año), además de los elementos nutritivos aportados, mejora la estructura y reduce la incrustación (11-4%). Por efecto mecánico, aumenta la resistencia a la erosión eólica. Para los campesinos, este aporte permite reducir o interrumpir la degradación y alargar la duración de cultivo, con rendimientos bastante estables (400 kg/ha).

Palabras-claves: mijo, materia orgánica, textura del suelo, barbecho, incrustación superficial, bostas, Niger.